کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد نه‌کوهی: نمونه‌ای از کانه‌زایی نوع بتورست در شمال‌باختر کرمان

امیر پاکیزه سناجردی[۱]، فردین موسیوند[۲]*، عبد الرحمان رجبی[۳]، سجاد مغفوری[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

[۲] استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

[۳] استادیار، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۴] استادیار، دانشکده علوم پایه، بخش زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۰۸/ ۱۱/ ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: ۲۹/ ۱۰/ ۱۳۹۷

چکیده

کانسار مس نه‌کوهی در ۴۰ کیلومتری شمال باختر کرمان، در پهنه ساختاری ایران مرکزی(بلوک بافق- پشت‌بادام) و در داخل توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین‌رخ داده‌است.توالی میزبان کانه‌زایی به‌طور عمده شامل شیل سیاه، ماسه سنگ و داسیت (سری ریزو) می‌باشد. کانه‌زایی به‌صورت چینه‌کران (رگه- رگچه‌ای) و چینه‌سان (لایه‌ای) در۳ افق معدنی مس دار و ۲افق غنی از آهن و منگنز رخ داده‌است. کانه زایی در منطقه معدنی نه کوهی دارای چهار رخساره کانه دار شامل رخساره رگه- رگچه‌ای، مجموعه دهانه‌ای، لایه‌ای و رسوبات گرمابی- بروندمی نواری آهن و منگنزدار می‌باشد.بافت ماده معدنی عمدتاً به صورت رگه- رگچه‌ای، نواری، لامینه، توده‌ای- نیمه توده‌ای، برشی و دانه‌پراکنده است. این کانه‌زایی حاوی کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، هماتیت وپیرولوزیت وکانی‌های ثانویه مالاکیت،کوولیت، دیژنیت، ژیپس و اکسید و هیدروکسیدهای آهن و منگنز بوده و کانی‌های باطله به‌طور عمده شامل کلسیت، باریت، کوارتز و کلریت می‌باشد. دگرسانی سنگ دیواره به طور عمده دگرسانی کلریتی و کربناته- سریسیتی- سیلیسی را شامل می شود. براساس ژئوشیمی کانسنگ، در کانسار پهنه بندی فلزی بصورت غنی شدگی Cu در پهنه رگه- رگچه‌ای و غنی شدگی Pb، Zn و Ag در رخساره لایه‌ای مشاهده می گردد. با توجه به ویژگی‌های اساسی کانه‌زایی در منطقه نه‌کوهی، از جمله محیط تکتونیکی تشکیل،سنگ شناسی توالی میزبان کانه‌زایی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی، پهنه‌بندی فلزی و دگرسانی و مقایسه آنها با ویژگی‌های اساسی ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشانزاد، این کانه زایی بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع سیلیسی کلاستیک فلسیک یا بتورست‌نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: کانسار مس نه‌کوهی، سولفید توده ای، بتورست، بلوک بافق- پشت‌بادام، ایران مرکزی

***نویسنده مسئول:** فردین موسیوند

E-mail: mousivand@shahroodut.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

کانه‌زایی مس نه‌کوهی در ۴۰ کیلومتری شمال باختر کرمان و ۵ کیلومتری خاور روستای چشمه‌گز، در بلوک پشت بادام از خرده قاره ایران مرکزی (شکل۱) یا پهنه کاشمر-کرمان (Ramezani and Tucker, 2003) و در داخل توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین رخ داده‌است. با توجه به آنالیزهای انجام گرفته از ۱۹ گمانه حفاری شده در کانسار نه‌کوهی، تناژ قطعی کانسار برابر با ۱/۵میلیون تن کانسنگ با عیار متوسط ۱ درصد مس شامل کانسنگ اکسیدی و سولفیدی می باشد (مشکانی، الف، ب، ۱۳۹۳). کانسار مس نه کوهی توسط مشکانی (۱۳۹۳ الف، ب) و جمالی (۱۳۹۳) براساس مطالعات زمین‌شناسی و صحرایی، و حاج صادقی(۱۳۹۴) براساس مطالعات مدل‌سازی ریاضی و آماری، از نوع کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) تشخیص داده شده است. اما با وجود این مطالعات، هنوز در تعیین الگوی رخداد کانه زایی شواهد کافی ارائه نشده و رخساره‌های کانه‌دار تفکیک و معرفی نگردیده و برای ارائه تیپ کانه‌زایی مقایسه‌ای با انواع تیپ‌های مختلف کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد براساس طبقه‌بندی‌های جدید صورت نگرفته‌است. هدف از این پژوهش، بحث در مورد چگونگی الگوی تشکیل و تیپ کانه زایی بر اساس مطالعات زمین شناسی و ساختاری، توالی چینه‌ای میزبان کانه‌زایی، ویژگی‌های رخساره‌های کانه‌دار، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و دگرسانی است که در نهایت نتایج این مطالعات می‌تواند به‌عنوان راهنمای اکتشافی برای اکتشاف ذخایر جدید در منطقه نه کوهی، بلوک بافق- پشت بادام و سایر مناطق دارای توالی چینه‌ای مشابه در ایران مفید واقع شود.

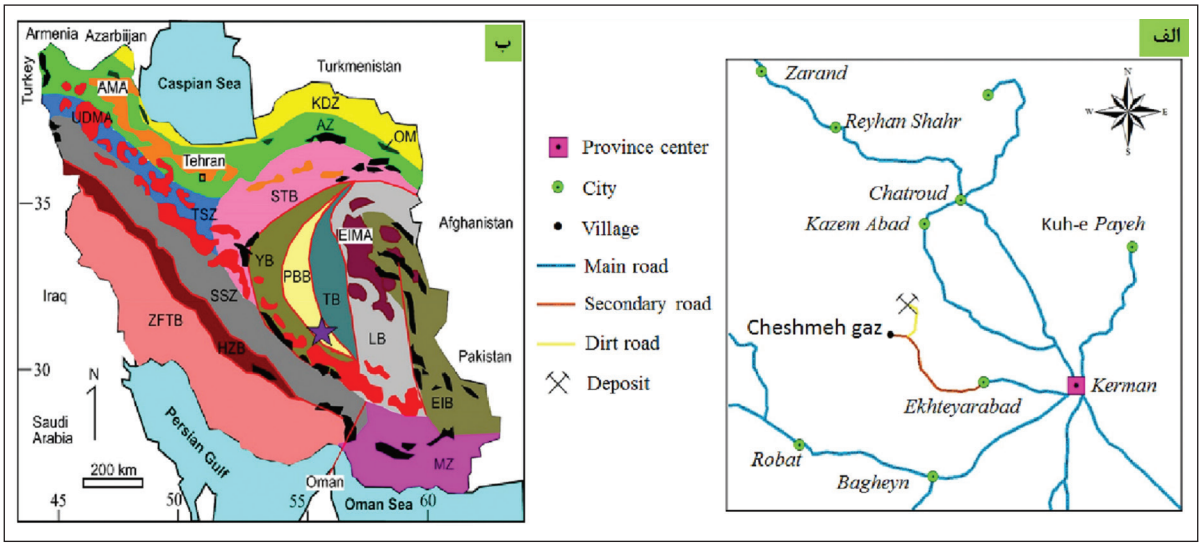
۲- شیوه مطالعه

مطالعات کتابخانه‌ای و برداشت‌های صحرایی از کانسار مس نه‌کوهی در سال‌های ۱۳۹۵و۱۳۹۶ انجام شد.طی انجام عملیات صحرایی، تعداد زیادی نمونه از بخش‌های مختلف کانسار(کمرپایین، کمربالا و مغزه‌های حفاری) برداشت و انتخاب گردید. تعدادی نمونه نیز ازکانسنگ، پهنه‌های کانه‌دار و سنگ‌های میزبان کانی‌سازی برای تهیه مقاطع نازک و نازک صیقلی انتخاب و برای مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و بررسی ارتباط سنگ میزبان وکانی‌سازی و رسم توالی پاراژنزی مطالعه شد. همچنین بررسی جایگاه چینه‌شناسی کانه‌زایی‌ها و ارتباط آنها با سنگ‌های توالی میزبان، بررسی دقیق افق‌های کانه‌دار، شکل هندسی پیکره‌های معدنی و پهنه‌های دگرسانی مربوطه در مقیاس‌های رخنمون و نمونه دستی از کانسار مس نه‌کوهی صورت گرفت. در این تحقیق تعداد ۹ نمونه از مواد معدنی مربوط به افق‌های کانه دار و رخساره‌های مختلف معدنی به روش ICP-MS در آزمایشگاه شرکت زرآزما آنالیز شده است. البته از نتایج آنالیز ۲۲ نمونه از گمانه های معدنی که توسط شرکت زرمش به روش ICP-OES در آزمایشگاه شرکت در کرمان آنالیز شده اند نیز استفاده شده است.

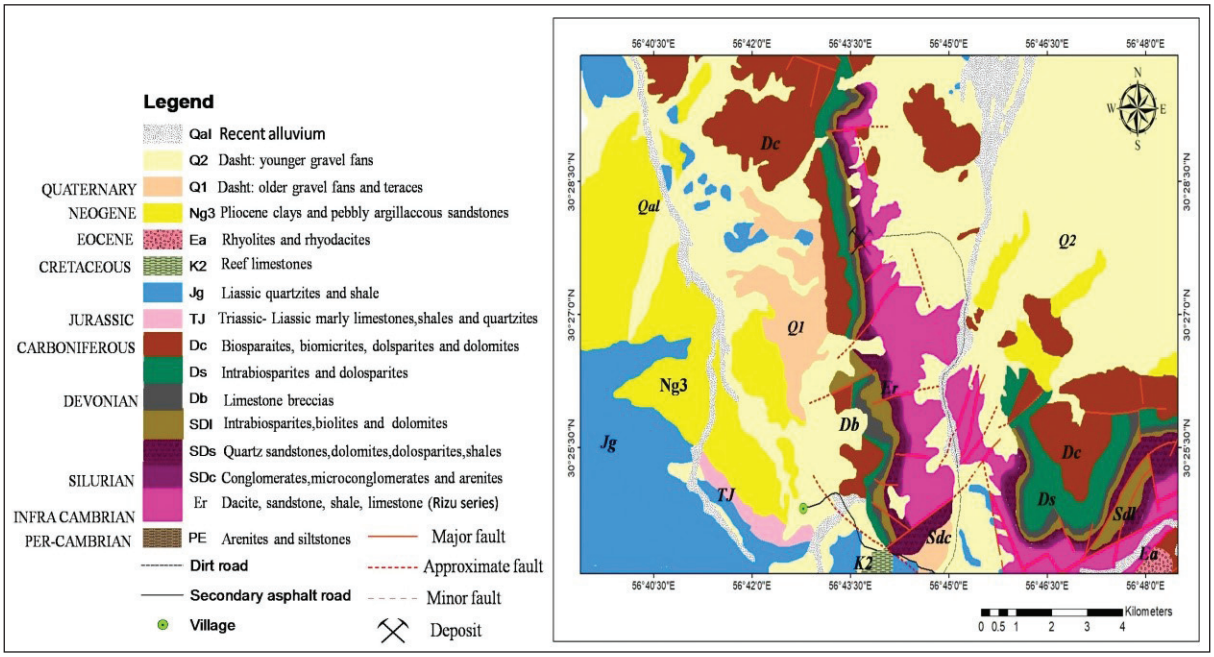
۳- زمین‌شناسی منطقه

براساس مطالعات Talbot and Alavi (1996)، پوسته قاره‌ای ایران مرکزی، طی کامبرین زیرین، تحت‌تأثیر فرایندهای زمین‌ساخت کششی متحمل کافت ناقص (Aborted rift) در طول حاشیه غربی گندوانا شده‌است که رخداد ماگماتیسم کامبرین زیرین و بالازدگی سست کره را دلیل این کافت‌زایی می‌دانند. رخداد ماگماتیسم در پهنه پشت‌بادام و طی نئوپروتروزوئیک پسین- کامبرین پیشین، همراه با کشش پشت کمانی بوده‌است (Ramezani and Tucker, 2003). این زمین‌ساخت کششی با فعالیت آتشفشانی نوع قلیایی و نفوذ گرانیت‌ها شروع شده‌است. نفوذ گرانیت‌ها، پیدایش آلکالی ریولیت و توف اسیدی، تشکیل سازند تاشک و سری‌های ریزو و دسو(سازند اسفوردی) همزمان با این فعالیت کششی بوده‌است(Nadimi, 2006;

Ramezani and Tucker, 2003).سری ریزو یکی از قدیمی‌ترین برونزدها در بلوک بافق- پشت بادام است و به طور عمده شامل سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی- رسوبی و دولومیت بوده و دارای سرشت بایمدال می‌باشد (Darvishzadeh and Kohbanani, 1996). مطالعات قبلی انجام شده بر روی ماگماتیسم سری ریزو(پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین) نشانگر محیط زمین‌ساختی کافت قاره‌ای همراه با ماگماتیسم بایمودال است (آل طه کوهبنانی، ۱۳۷۲؛ طهمورثی، ۱۳۷۵ و صدرزاده، ۱۳۹۰) است.کانه‌زایی مس نه‌کوهی درتوالی آتشفشانی- رسوبی سری ریزو واقع شده‌است. عمده‌ترین واحدهای رخنمون‌یافته در منطقه از قدیم به جدید شامل ماسه سنگ کوارتزیتی، آهک کریستالین تیره‌رنگ و تناوبی از شیل و سنگ‌های آتشفشانی به سن پرکامبرین پسین، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سنگ آهک و دولومیت به سن سیلورین و دونین، دولومیت و دولومیت آهکی به سن تریاس و سنگ آهک، شیل و سیلتستون به سن ژوراسیک می‌باشد (شکل ۲). کانسار مس نه‌کوهی اولین کانسار تیپ VMS و با میزبان آتشفشانی- رسوبی در بلوک بافق- پشت بادام می‌باشد، درحالیکه چندین کانسار سرب و روی تیپ SEDEX از قبیل کوشک، چاه‌میر و زریگان در سری ریزو در این بلوک معرفی گردیده‌است (Yaghubpur and Mehrabi, 1997; Rajabi et al., 2012; Rajabi et al., 2015).



شکل۱- الف) نقشه راه‌های دسترسی به کانسار مس نه‌کوهی(برگرفته از نقشه راه های کشور، ۱۳۸۱)، ب) موقعیت کانسار نه‌کوهی در بلوک پشت‌بادام(PBB) در نقشه پهنه‌های زمین شناسی ساختاری ایران (نقشه ازآقانباتی، ۱۳۸۳) و موقعیت کانسار مس نه کوهی (علامت ستاره).



شکل۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه کانسار نه‌کوهی بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ باغین (با تغییرات از Djocovic and Dimitrigevic,1979) .

توالی آتشفشانی- رسوبی میزبان کانه‌زایی در منطقه چشمه‌گز براساس تغییر در ترکیب سنگ‌شناسی به چهار واحد چینه‌ای قابل تقسیم است که این واحدها از قدیم به جدید شامل موارد زیر می‌باشند(شکل‌های ۳ و ۴):

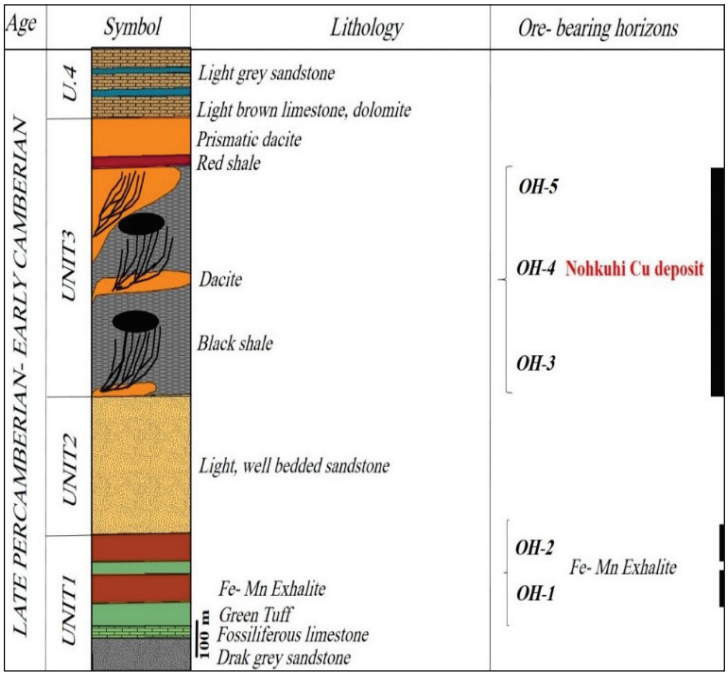
۱)واحد۱: واحد تخریبی شامل ماسه‌سنگ، سنگ آهک حاوی فسیل دوکفه‌ای وگاستروپود، توف-کریستال توف، سنگ‌های کربناته آهن و منگنزدار بروندمی،

۲) واحد۲: واحد ماسه‌سنگی کرم رنگ با لایه‌بندی منظم،

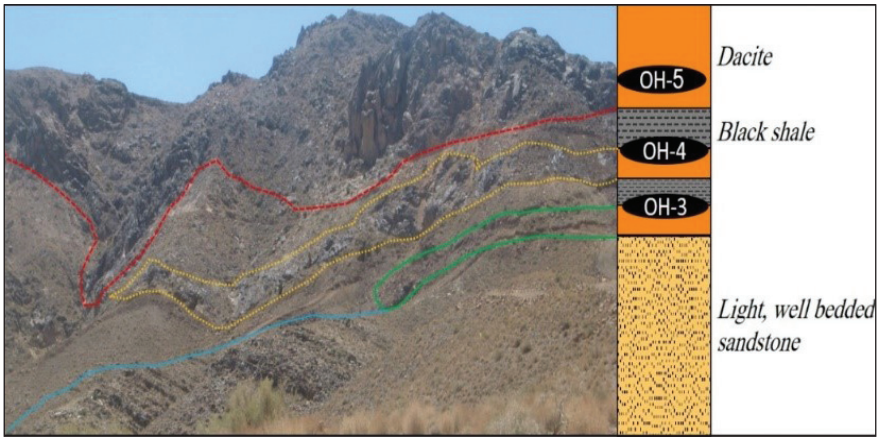
۳) واحد۳: واحد آتشفشانی- رسوبی شامل شیل سیاه و داسیت (میزبان کانه‌زایی مس نه‌کوهی)،

۴) واحد ۴: شامل ماسه سنگ، دولومیت و سنگ آهک.

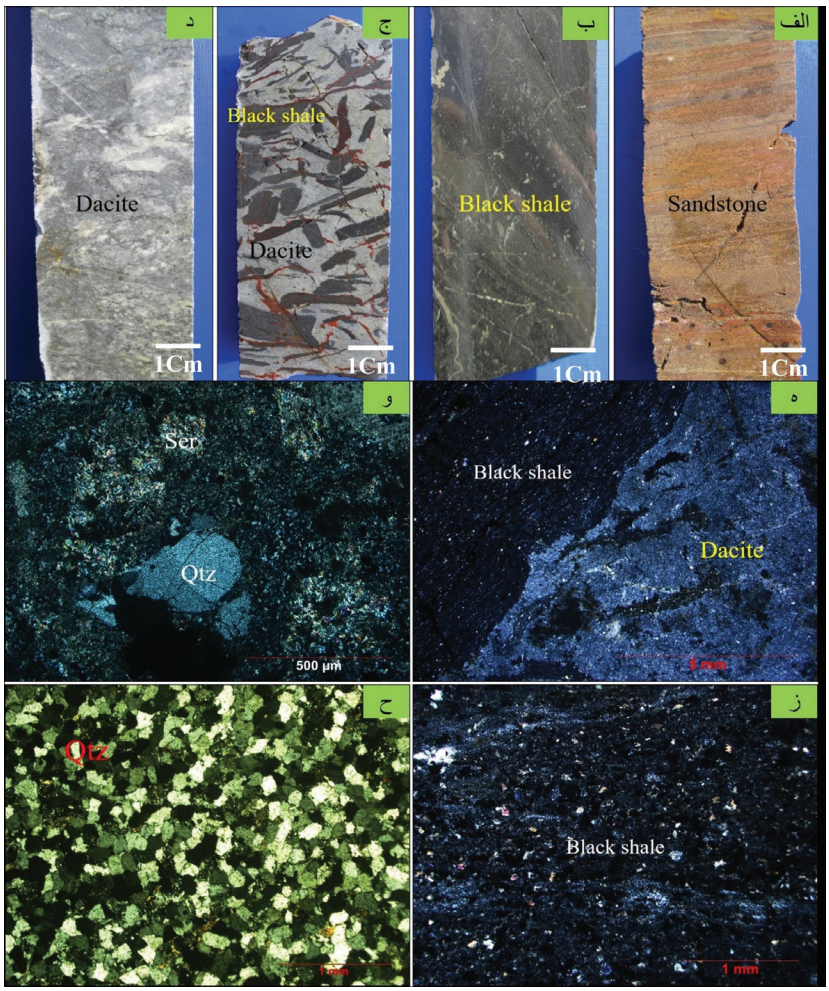
ماسه‌سنگ‌ها از نوع کوارتز آرنایت بوده و بیشتر از قطعات تخریبی با کانی‌شناسی کوارتز، فلدسپات، مسکوویت، سریسیت و اکسیدهای آهن تشکیل شده‌اند. کانی اصلی تشکیل دهنده این سنگ بلورهای کوارتز است و دارای گردشدگی بد تا متوسط و جورشدگی خوبی می‌باشد. شیل‌های سیاه دارای لایه‌بندی و لامیناسیون بوده و غنی از کانی‌های سولفیدی هستند که به موازات لایه‌بندی شیل‌ها جای گرفته‌اند. واحدهای داسیتی به دو صورت سیل و گدازه بوده و دارای کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات، سریسیت و کربنات هستند و بافت پورفیری در آنها قابل مشاهده است. بلورهای پلاژیوکلاز در اثر دگرسانی به بلورهای سریسیت تبدیل شده‌اند. مرز واحدهای داسیتی با شیل‌های سیاه به صورت پیریتی (peperitic) است به‌طوری که قطعات برشی از جنس داسیت در داخل شیل‌ها و بالعکس مشاهده می‌شود که نشانه نفوذ واحد داسیتی در شیل‌ها در زمان رسوبگذاری است (شکل۵).



شکل۳- نمایی از توالی میزبان کانه‌زایی مس در منطقه نه‌کوهی و موقعیت افق‌های کانه‌دار در آن.



شکل۴- نمایی از سنگ‌های میزبان‌افق‌های کانه‌زایی مس در کانسار نه‌کوهی(جهت دید به سمت باختر).



شکل ۵- تصاویر مغزه‌های حفاری و مقاطع میکروسکوپی سنگ‌های توالی میزبان کانسار نه کوهی: الف) ماسه سنگ، ب) شیل سیاه، ج) نمونه مغزه حفاری نشان دهنده قطعات برشی شیل در واحد داسیت، د) داسیت، ه) مقطع میکروسکوپی از قطعات شیل در داخل واحد داسیت، و) مقطع میکروسکوپی از داسیت با بافت پورفیری و آثار دگرسانی سریسیتی (ser) در آن، ز) نمایی میکروسکوپی از واحد شیلی، ح) مقطع میکروسکوپی از واحد ماسه‌سنگ دارای قطعات کوارتز (Qtz) و اکسیدآهن.

۴- کانه‌زایی

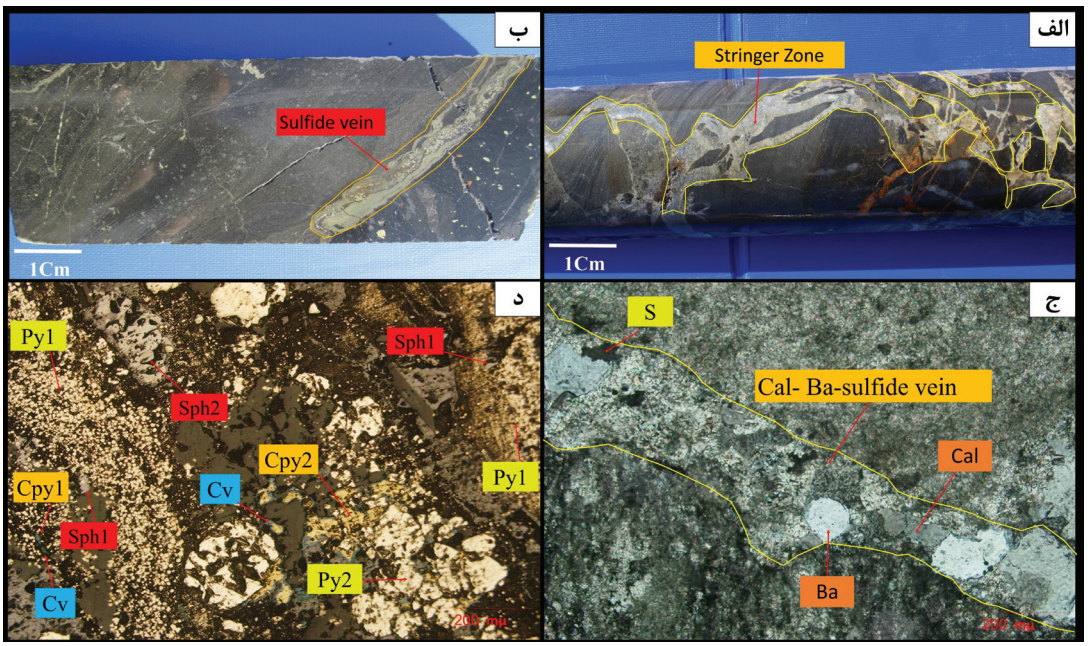
بر اساس مطالعات صحرایی و بررسی و مطالعه مغزه های حفاری، کانه‌زایی مس در کانسار مس نه کوهی به‌صورت چینه کران (Stratabound) و چینه‌سان(Stratiform) بوده و در افق‌های متعدد رخ داده است (شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷). در کانسار مورد مطالعه در ۵ افق کانه‌زایی مشاهده می شود که مهم‌ترین افق کانه‌زایی در واحد ۳ توالی آتشفشانی-رسوبی رخ داده‌است. دو افق کانه‌زایی به صورت رسوبات بروندمی نواری غنی از آهن و منگنز در واحد۱ چینه‌شناسی کانسار رخ داده و در واحد۳ چینه‌ای که میزبان کانه‌زایی کانه‌زایی مس نه کوهی است سه افق معدنی دیگر که غنی از مس هستند تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۳ و ۴).

۵- شکل هندسی ماده معدنی

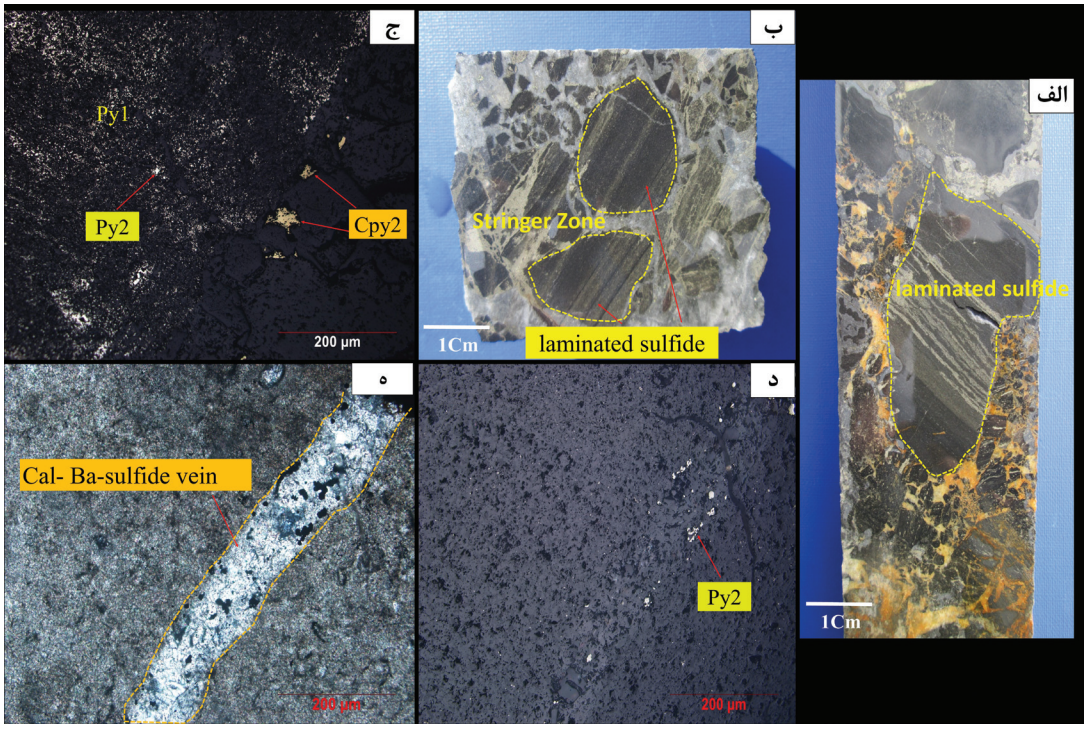
براساس مشاهدات صحرایی و بافتی، ماده معدنی در کانسار مورد مطالعه غالباً به‌صورت رگه‌ای قطع کننده و چینه کران (برشی و رگه - رگچه‌ای) پرعیار مس بوده که در بالای آن ماده معدنی کم عیار به‌صورت چینه‌سان (لایه ای) و همخوان و همروند با لایه‌بندی سنگ‌های درونگیر تشکیل شده‌است.

۶- سنگ درونگیر

سنگ درونگیر ماده معدنی در کانسار نه‌کوهی به طور عمده شیل سیاه، گدازه‌های داسیتی و ماسه‌سنگ هستند. بخش عمده ماده معدنی در درون شیل های سیاه و گدازه‌های داسیتی رخ داده‌است. شیل های سیاه دارای لایه‌بندی بوده و غنی از کوارتز، مواد آلی و کانی های سولفیدی هستند. با توجه به اینکه بخشی از کانه‌زایی به‌صورت کم عیار در شیل‌های سیاه از لایه بندی سنگ میزبان پیروی می کند، اثراتی از اکسیدهای آهن و مالاکیت ناشی از اکسیداسیون سولفیدها به صورت هم‌روند با سنگ میزبان دیده می‌شود. واحد داسیتی در ۴ افق چینه شناسی دیده می شود (شکل ۳). از لحاظ کانی شناسی این واحد سنگی به‌طور عمده حاوی کوارتز و فلدسپارهای دگرسان شده به سریسیت می باشد (شکل ۵). واحد ماسه سنگی به صورت کرم رنگ تا قهوه‌ای رنگ در صحرا قابل مشاهده‌است و همچنین تحت تأثیر چین‌خوردگی و گسلش های منطقه قرار گرفته است. این واحد سنگی به‌طور عمده از کوارتز و کانی‌های دگرسانی مثل کلریت تشکیل شده است (شکل ۵).



شکل۶- الف) نمایی از رخساره استرینگر در مغزه حفاری که رگه- رگچه‌های کلسیتی(Ca)- باریتی(Ba) - سولفیدی(S) سنگ میزبان را در جهات مختلف قطع کرده‌است، ب) مغزه حفاری از رخساره رگه- رگچه‌ای که دارای بافت رگه‌ای و دانه‌پراکنده سولفیدی در سنگ میزبان شیلی است، ج) تصویر میکروسکوپی نشان دهنده رگه کلسیتی(Ca)- باریتی(Ba) - سولفیدی(S) دررخساره استرینگر، د) تصویر میکروسکوپی از رخساره استرینگر که کانی‌های اولیه کالکوپیریت نسل اول و دوم ($Cpy_{1,2}$)، اسفالریت نسل اول و دوم ($Sph_{1,2}$)، پیریت نسل اول و دوم ($Py_{1,2}$) و و ثانویه Cv قابل مشاهده هستند.

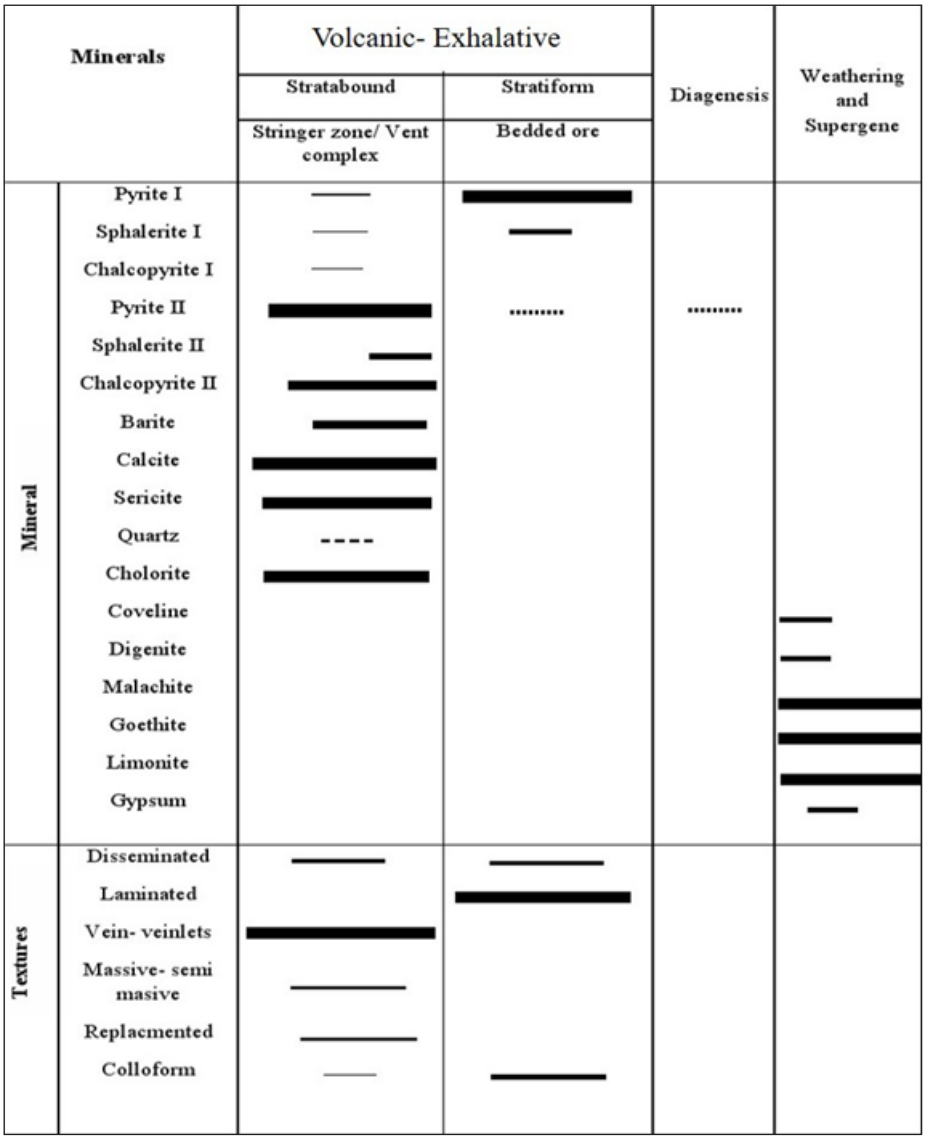


شکل۷- الف، ب) رخساره مجموعه دهانه‌ای که حاوی قطعات رخساره لایه‌ای در زمینه‌ای از کانی های سولفیدی و کربناتی می‌باشد. ج) تصویر میکروسکوپی از رخساره مجموعه دهانه‌ای، که سولفیدهای زمینه شامل کالکوپیریت نسل دوم (Cpy_2)، پیریت نسل اول (Py_1) و پیریت نسل دوم (Py_2) می‌باشد. د، ه) تصاویر میکروسکوپی(د: نور انعکاسی، ه: نور عبوری) که نشان دهنده رگه سولفیدی و کلسیتی- باریتی در رخساره مجموعه دهانه‌ای است.

۷– ساخت و بافت و کانی شناسی ماده معدنی

ماده معدنی در کانسار نه‌کوهی دارای ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای، نواری، لامینه، توده‌ای- نیمه توده‌ای، دانه‌پراکنده، برشی و جانشینی است. بافت رگه- رگچه‌ای به طور عمده از پیریت وکالکوپیریت و مقدار کمتری اسفالریت تشکیل شده‌است (شکل۶) و این نشانه وجود پهنه‌بندی فلزی در کانسار نه کوهی است. بافت نواری شامل تناوبی از نوارهای غنی از پیریت و مقدار کمتر اسفالریت همراه با سنگ میزبان شیلی است. بافت نواری در واحد رسوبی- بروندمی غنی از آهن و منگنز موجود در افق‌های کانه‌دار ۱ و۲، به فراوانی دیده می‌شود. از لحاظ کانی‌شناسی کانسار مس نه‌کوهی شامل کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، باریت، هماتیت و پیرولوزیت و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت، دیژنیت و اکسید- هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های باطله کلسیت، کلریت، باریت و کوارتز است(جدول۱).

جدول۱- مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانی‌ها به همراه ساخت و بافت آنها در کانسار مس نه‌کوهی.



۸– رخساره‌های کانه‌دار

بر اساس تفاوت ویژگی‌های ساخت و بافت و کانی‌شناسی در قسمت‌های مختلف کانه‌زایی، چهار رخساره کانه‌دار در کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد مس نه کوهی قابل تشخیص است که عبارتند از: رخساره رگه-رگچه‌ای، مجموعه دهانه‌ای، رخساره لایه‌ای و رخساره بروندمی- نواری غنی از آهن و منگنز. ویژگی‌های هر یک از رخساره ها در ادامه آمده است.

۸–۱. رخساره رگه– رگچه‌ای (Stringer zone)

این رخساره در زیر رخساره مجموعه دهانه‌ای قرار گرفته است و متشکل از رگه- رگچه‌های کلسیتی- باریتی و سولفیدی است که به همراه آن دگرسانی سریسیتی- کربناته- سیلیسی دیده می‌شود. این رگه‌ها دارای کانی‌های پیریت نسل اول و دوم (Py_2) ، (Py_1) ، کالکوپیریت نسل اول و دوم (Cpy_1) و (Cpy_2)، اسفالریت نسل اول و دوم (Sph_1) و (Sph_2)، باریت وکلسیت هستند (شکل۶).

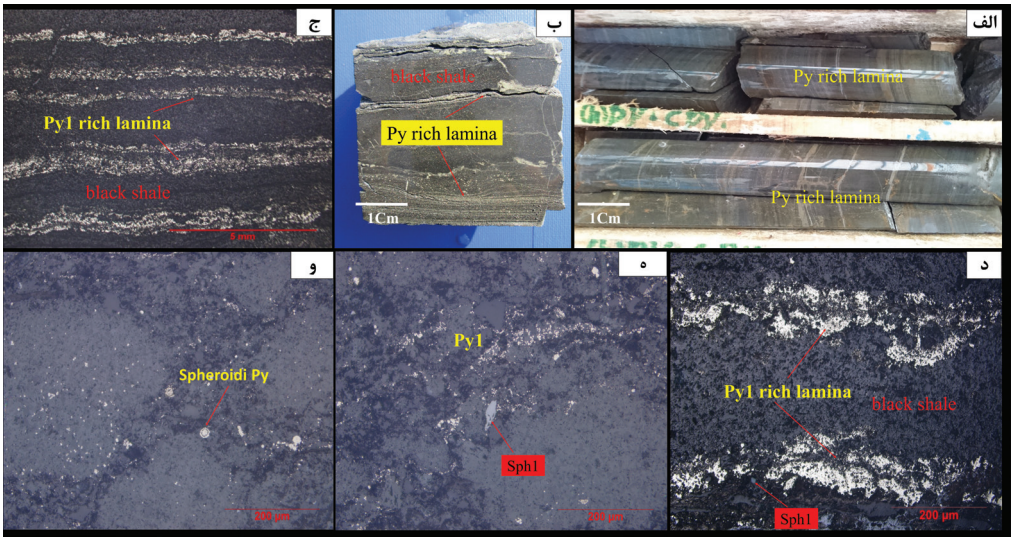
کوولیت و دیژنیت در طی مراحل سوپرژن و در اثر جانشینی سولفیدهای اولیه در اطراف کالکوپیریت تشکیل شده‌است. کالکوپیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی مس است که در رخساره رگه- رگچه‌ای و به‌صورت دو نسل قابل مشاهده است. باریت در رخساره رگه- رگچه‌ای به میزان بالایی مشاهده می‌شود و به‌صورت رگه- رگچه‌های باریتی واحد داسیتی منطقه را قطع کرده‌است. بافت‌های رگه- رگچه‌ای، برشی، دانه‌پراکنده و شکاف پرکن مهم‌ترین بافت‌های رخساره رگه- رگچه‌ای هستند. این رخساره در کانسار مس نه‌کوهی دارای گسترش بالایی است و همچنین این رخساره در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد نظیر مس- نقره بوانات فارس (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۵)، چاه گز شهربابک (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۰)، مس نوده سبزوار (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۳) و گرماب پایین (طاشی وهمکاران، ۱۳۹۶) نیز دیده می‌شود.

۸-۲. رخساره مجموعه دهانه‌ای (Vent complex)

این رخساره در بین رخساره‌های لایه‌ای در بالا و استرینگر در زیر قرار دارد. در این رخساره لامینه‌های سولفیدی و رگه‌های استرینگر به‌صورت بافت و ساخت برشی به هم در آمیخته‌اند. کانی‌شناسی عمده این رخساره شامل پیریت (Py_2)، کالکوپیریت (Cpy_2)، اسفالریت (Sph_2)، باریت وکلسیت می‌باشد که به‌صورت بافت‌های رگه- رگچه‌ای، توده‌ای- نیمه توده‌ای و دانه‌پراکنده مشاهده می‌شوند (شکل۷). بافت برشی سولفیدها به همراه قطعات سنگ میزبان در رخساره توده‌ای و رگه- رگچه‌ای کانسارهای سولفیدی در ارتباط مستقیم با فعالیت گسل همزمان با رسوبگذاری و فعالیت گرمابی بوده و در کانسارهای روی- سرب رسوبی- بروندمی کوشک و چاه میر (Rajabi et al., 2012, 2015) و کانسارهای سولفید توده ای نوع بتورست کانادا (Goodfellow, 2007) نیز دیده می شود.

۸-۳. رخساره کانسنگ لایه‌ای (Bedded ore)

این رخساره شامل لایه‌ها و لامینه‌های سولفیدی است که ناشی از ته‌نشینی همزمان کانی‌های سولفیدی با ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان شیلی در کف دریا است. همچنین ته‌نشست سولفیدها به صورت پراکنده در کنار هم و تشکیل لایه‌های غنی از پیریت، نشان از افزایش شرایط رسوبگذای در یک محیط آرام و ته‌نشست سولفیدها در یک محیط رسوبی پایدار می‌باشد و این لامینه‌ها متشکل از کانی‌های پیریت نسل اول (Py_1) و اسفالریت نسل اول (Sph_1) می باشد. سولفیدها در این رخساره بیشتر دارای بافت لامینه، نواری، دانه‌پراکنده، فرامبوئیدال و اسفروئیدی هستند (شکل۸). البته گاهی پیریت نسل اول بی شکل به پیریت نسل دوم (Py_2) نسبتاً متبلور تبدیل شده که می‌تواند ناشی از عملکرد فرایند دیاژنز باشد.



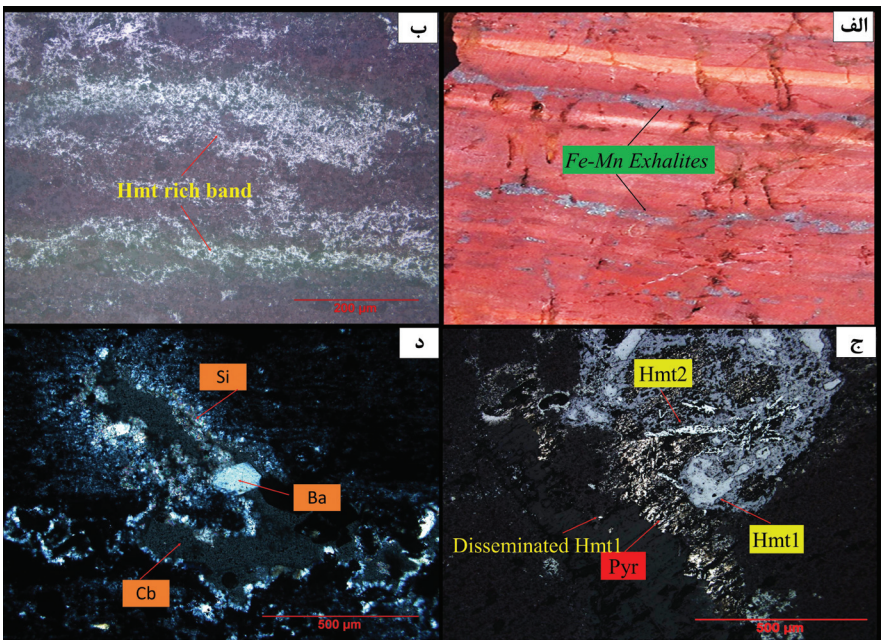
شکل۸- الف وب) تصاویری از مغزه‌های حفاری رخساره لایه‌ای که نشان دهنده تناوب لامینه‌های سولفیدی با سنگ میزبان شیلی، ج) تصویر میکروسکوپی ازتناوب لامینه‌های پیریتی با سنگ میزبان شیلی، د) همراهی پیریت نسل اول (Py_1) با اسفالریت نسل اول (Sph_1) در رخساره کانسنگ لایه‌ای، ه) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های دانه‌ریز نسل اول (Py_1) و اسفالریت نسل اول (Sph_1) و) بافت پیریت اسفروئیدی نسل اول (Py_1) در رخساره کانسنگ لایه‌ای.

۸-۴. رخساره رسوبی- بروندمی نواری غنی از آهن و منگنز (exhalites Fe-Mn)

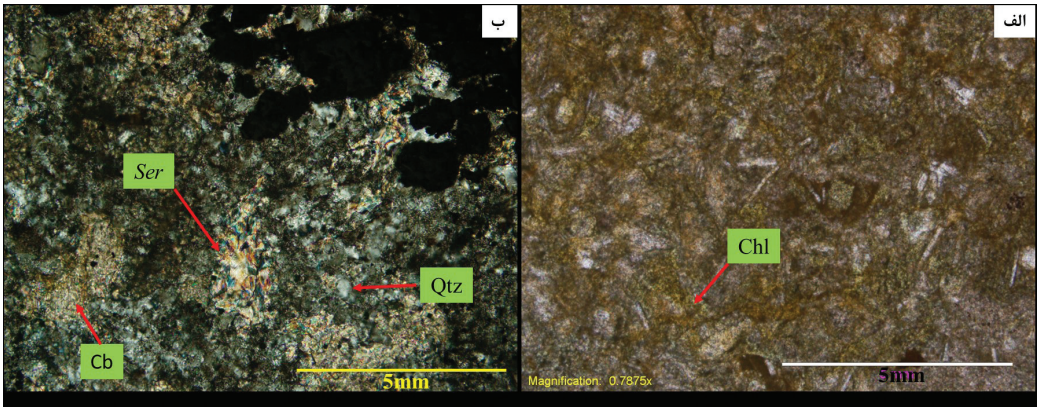
این رخساره شامل نوارهای غنی از آهن و منگنز است که به شکل همخوان با لایه‌بندی سنگ میزبان شکل گرفته است و در خاور کانسار و در توالی چینه شناسی میزبان کانسار(واحد ۱ سنگ شناختی) گسترش یافته است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی کانه های تشکیل دهنده این رخساره هماتیت اولیه، پیرولوزیت، باریت، کربنات وکوارتز می‌باشند. در این رخساره بافت های نواری،لامینه، رگه- رگچه ای و دانه پراکنده دیده می‌شود (شکل۹). کانی هماتیت به‌صورت نسل اول (Hmt_1) و نسل دوم (Hmt_2) مشاهده می‌شود که هماتیت‌های نسل دوم حاصل تبلور هماتیت های نسل اول هستند (شکل۹-ج).

۹- دگرسانی

بر اساس بررسی‌های انجام شده، پهنه‌های دگرسانی عمده در کانسار نه کوهی شامل دگرسانی سریسیتی- کربناته- سیلیسی و دگرسانی کلریتی می باشند (شکل ۱۰). به طور کلی دگرسانی سریسیتی- کربناته- سیلیسی در مرکز سامانه کانه‌زایی و دگرسانی کلریتی در اطراف سامانه گسترش دارد. باتوجه به حجم بالای آب‌های آهن‌دار بیشترین حجم دگرسانی مربوط به دگرسانی کلریتی است که در کمرپایین کانسار (زیر افق‌های معدنی) در رخساره رگه- رگچه‌ای وجود دارد. کلریتی شدن یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی است که در اثر محلول‌های گرمابی غنی از Fe و Mg ایجاد می شود و در اثر این فرایند سنگ ظاهری سبز رنگ پیدا می کند (Galley et al., 2007) کلریت کانی غالب در پهنه دگرسانی کلریتی در کانسار نه کوهی بوده و البته این پهنه حاوی پیریت دانه پراکنده و رگه- رگچه‌های باریتی نیز می باشد.



شکل۹- الف) رخساره رسوبی- برونده‌می حاوی نوارها و لامینه‌های غنی از آهن و منگنز، ب) تصویر میکروسکوپی از لامینه‌های غنی از هماتیت ، ج) تصویرمیکروسکوپی از هماتیت نسل اول (Hmt_1) با بافت توده‌ای ، هماتیت‌های نسل دوم (Hmt_2) با بافت رگه- رگچه‌ای و پیرولوزیت (Pyr) با بافت رگه- رگچه‌ای ، د) رگه‌های کربناته(cb)- باریتی(Ba)- سیلیسی(Si).



شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپی از پهنه های دگرسانی در کانسار نه کوهی: الف) دگرسانی کلریتی (Chl) و ب) دگرسانی سریسیتی(Ser)- کربناتی (Cb)- سیلیسی(Qtz) در کانسار نه کوهی.

۱۰- پهنه‌بندی فلزی

تغییرات عناصر پایه و قیمتی در رخساره های کانه دار در کانسار مس نه کوهی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. بر اساس مطالعات ژئوشیمی کانسنگ، این کانسار غنی از مس می‌باشد و میزان روی و سرب بسیار پایین است. میزان مس در پهنه رگه- رگچه‌ای در کانسار بیشتر از قسمت‌های لایه‌ای بوده زیرا کانه‌زایی مس به‌صورت کالکوپیریت در این پهنه دیده می‌شود. بیشترین مقدار روی در رخساره مجموعه دهانه‌ای و کمترین مقدار در رخساره کانسنگ لایه‌ای می‌باشد. بیشترین مقدار سرب در رخساره کانسنگ لایه‌ای در حدود است. میزان نقره از رخساره استرینگر به طرف رخساره لایه‌ای افزایش نشان می‌دهد.

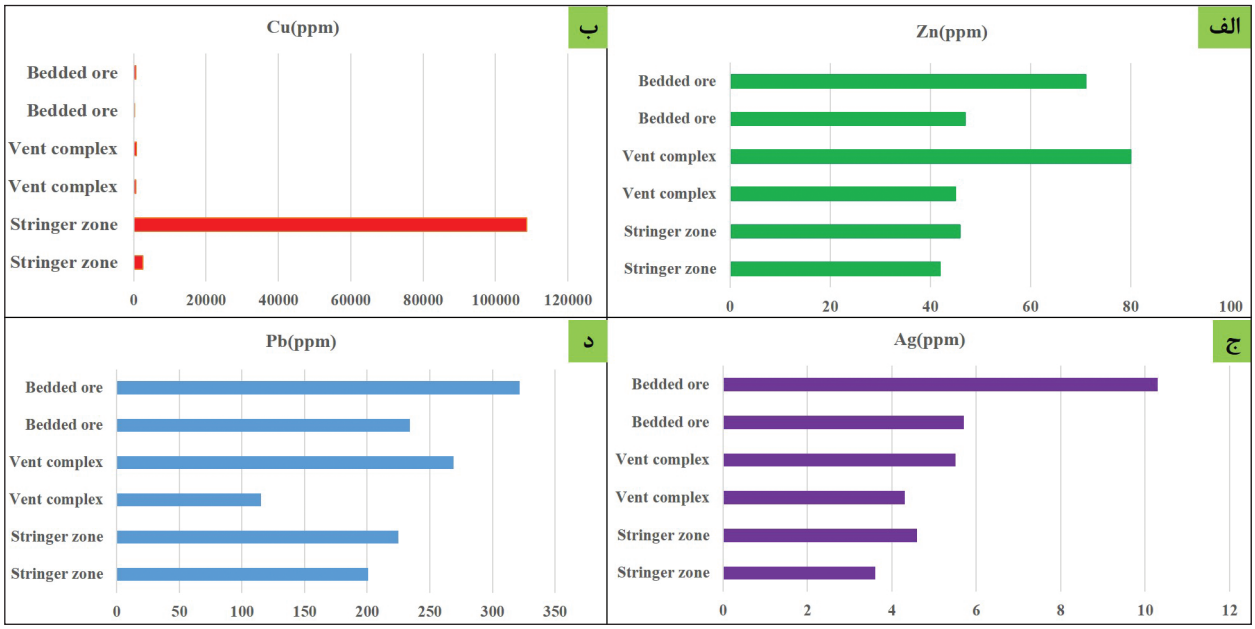
۱۱- الگوی تشکیل کانسار نه‌کوهی

با توجه به ویژگی‌های کانه‌زایی مس در منطقه نه کوهی شامل رخداد کانه‌زایی به‌صورت چینه‌سان (همخوان با لایه‌بندی سنگ میزبان شیلی) و چینه‌کران (به‌صورت رگه- رگچه‌ای و قطع کننده سنگ میزبان داسیتی، شیلی) و وجود بافت‌های رگه- رگچه‌ای، توده‌ای- نیمه توده‌ای، لامینه، نواری، دانه‌پراکنده و جانشینی در ماده معدنی و سایر ویژگی‌ها از جمله پهنه‌بندی دگرسانی و رخساره‌های مختلف کانه‌دار، کانه‌زایی نه‌کوهی با کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) شباهت زیادی را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). وجود رخساره‌های کانه‌دار و نسل‌های مختلف کانی‌ها در کانسار نه‌کوهی، گویای رخداد کانسنگ در چند مرحله است. بر اساس

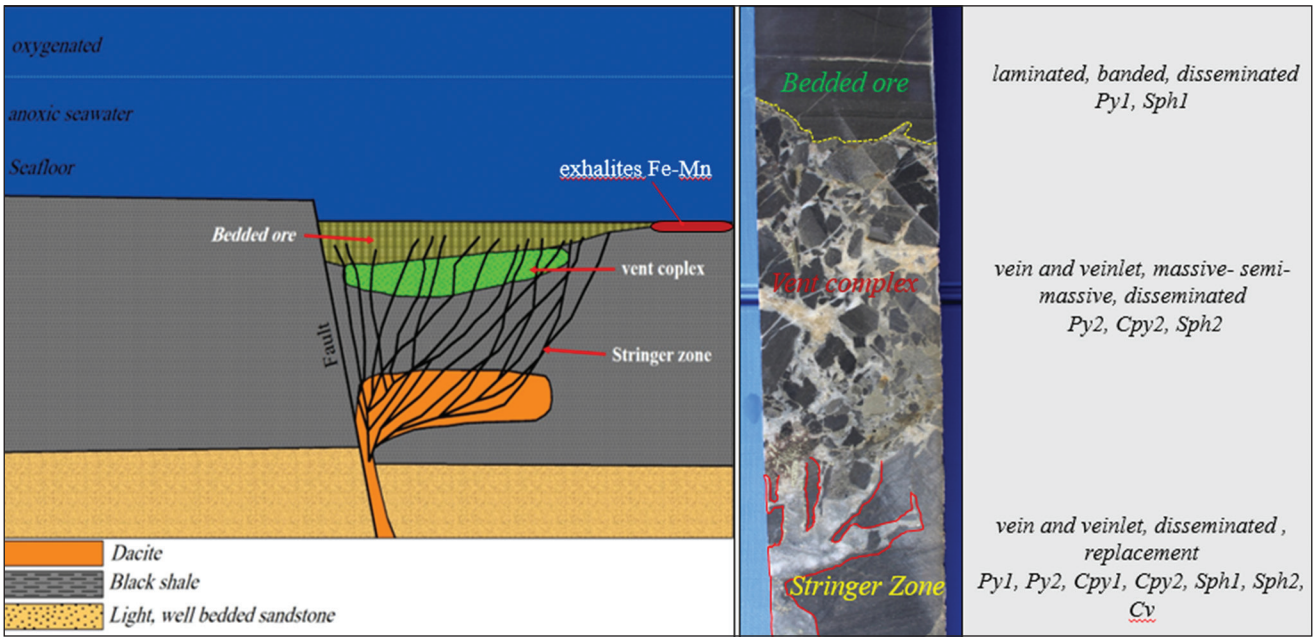
پاراژنز کانیایی و مطالعات میکروسکوپی، دو مرحله کانه‌زایی را می‌توان در کانسار نه‌کوهی تشخیص داد (جدول۱) که شامل مراحل زیر می‌باشند:

مرحله۱) فعالیت‌های آتشفشانی- بروندمی و دیاژنز: اولین مرحله کانه‌زایی در کانسار نه‌کوهی به‌صورت همزمان با وقوع فعالیت‌های آتشفشانی- بروندمی در زمان پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین بوده است. نفوذ سیل‌های داسیتی به داخل شیل‌های سیاه در زیر کف دریا موجب فعال شدن جریان‌های همرفتی آب دریا در طول گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوب‌گذاری شده که نتیجه آن ایجاد سیالات داغ و شور بوده که فلزات و عناصر کانسنگ‌ساز را از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی کمرپایین شسته و وارد دریا نموده است. نتیجه فعالیت این سامانه گرمابی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد نه‌کوهی و ایجاد رخساره‌های استرینگر و مجموعه دهانه‌ای در زیر کف دریا و رخساره‌های لایه‌ای و بروندمی در کف دریا می‌باشد. بعد از ته‌نشست سولفیدها و تدفین آنها، فرایند دیاژنز موجب تبلور کانی‌ها شده است. در بخش لایه‌ای پیریت نسل دوم محصول فرایند دیاژنز بوده و از تبلور مجدد پیریت نسل اول حاصل شده است.

مرحله۲) پس از کانه‌زایی (هوازدگی و سوپرژن): در این مرحله، عملکرد فرایندهای هوازدگی و سوپرژن باعث تحرک مجدد عناصر و ته‌نشست برخی کانی‌های سولفیدی (مثل کوولین و دیژنیت) و اکسیدی-هیدروکسیدی-کربناتی ثانویه (مالاکیت و اکسید- هیدروکسیدهای آهن و منگنز در کانسار شده‌است.



شکل ۱۱- تغییرات عناصر پایه و قیمتی در رخساره های کانه دار در کانسار مس نه کوهی.



شکل ۱۲- مدل نمادین از رخساره‌های مختلف کانه دار کانسار مس نه‌کوهی.

۱۲- تیپ کانه زایی

طبقه‌بندی کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد براساس ترکیب توالی چینه‌شناسی، شامل پنج گروه می‌باشد (جدول۲): ۱- تیپ مافیک- اولترامافیک (قبرس) ، ۲- تیپ مافیک سیلیسی کلاستیک (یاپلیتیک مافیکیا تیپ بشی)، ۳- تیپ بایمدال مافیک (تیپ نوراندا) ۴- تیپ بایمدال فلسیک (تیپ کروکو) ۵- تیپ بایمدال فلسیک- سیلیسی کلاستیک یا تیپ بتورست (Barrie and Hannington 1999; Franklin et al., 2005; Galley et al., 2007). کانه زایی در منطقه نه‌کوهی به علت داشتن محیط آتشفشانی- رسوبی فلسیک، بالا بودن حجم سنگ‌های رسوبی در توالی میزبان، رخداد گسترده رسوبات بروندمی- گرمابی، سنگ‌های میزبان آتشفشانی فلسیک و شیل‌های سیاه، وجود رخساره مجموعه دهانه‌ای و نیز بافت‌های لامینه و نواری در رخساره لایه‌ای و نوع پهنه‌بندی دگرسانی، بیشترین شباهت را با نهشته‌های تیپ بایمودال فلسیک سیلیسی کلاستیک یا بتورست نشان می‌دهد. در این کانسار سنگ‌های آواری و سنگ‌های فلسیک فراوان بوده و به‌طور معمول سنگ‌های مافیک بسیار کم می‌باشد. توالی میزبان کانسارهای تیپ بتورست، در محیط‌های کمان بالغ حاشیه قاره‌ای و پشت کمانی نهشته می‌شوند که از جمله این کانسارها می‌توان به کانسارهای منطقه معدنی بتورست در کانادا (Goodfellow, 2007; Goodfellow and McCutcheon, 2003)، کانسارهای کمربند پیریتی ایبرین اسپانیا- پرتقال (Shanks and Koski, 2012). مطالعات ژئوشیمیایی بر روی سنگ‌های آذرین میزبان کانه‌زایی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها دارای ماهیت کالک آلکالن بوده و از لحاظ ترکیب همچنین سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارای ترکیب داسیتی و تعداد کمتر در محدوده آلکالی ریولیت قرار می‌گیرد. الگوی عناصر نادر خاکی دارای شیب منفی با بی‌هنجاری منفی از عناصر HFSE و بی‌هنجاری مثبت از عناصر LILE و عناصر خاکی کمیاب سبک LREE هستند، بنابراین کانسار مس نه‌کوهی از لحاظ جایگاه زمین‌ساختی در حوضه کمان آتشفشانی مرتبط با حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده است (دوست محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین در ایران می‌توان به کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد روی- سرب- مس چاه‌گز (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۰) اشاره کرد (جدول۲). بر اساس Goodfellow (2007) کانسارهای منطقه معدنی بتورست کانادا به‌طور عمده غنی از روی هستند، هرچند که تعدای از آنها مثل کانسار چستر (Chester) غنی از مس هستند. کانسار مس نه‌کوهی نیز غنی از مس می باشد، اما کانسار چاه گز به‌عنوان نوع تیپیک بتورست در ایران غنی از روی است.

جدول۲- مقایسه کانسار نه‌کوهی با ویژگی‌های انواع کانسارهای سولفیده توده‌ای آتشفشانزاد (VMS).

ویژگی‌های شاخص	کانسار نه‌کوهی	تیپ سیلیسی کلاستیک فلسیک (Bathurst)	تیپ بایمدال فلسیک (Kuroko)	تیپ بایمدال مافیک (Noranda)	تیپ پلیتیک مافیک (Besshi)	تیپ مافیک–الترامافیک (Cyprus)
محیط زمین‌ساختی	کمان حاشیه قاره	کمان و پشت کمانی	کمان و پشت کمانی	کمان‌های نوظهور اقیانوسی	پشت کمانی، ریف‌های قاره‌ای	پشته‌های میان اقیانوسی، پشت کمانی
سنگ‌های میزبان و همراه	شیل سیاه و داسیت، ماسه‌سنگ	داسیت، ریولیت و شیل سیاه	ریولیت و داسیت و سنگ‌های آذرآواری فلسیک	بازالت، آندزیت و آذرآواری	گدازه‌های بازالتی آندزیت-بازالتی، شیل، سیلتستون سیاه، ماسه سنگ	بازالت‌های بالشی و سنگ‌های الترامافیک
کانی‌های معدنی	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت	اسفالریت، گالن، پیریت،آرسنوپیریت، پیروتیت، تتراهدریت	اسفالریت، گالن، پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، تتراهدریت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت، پیروتیت	پیریت، کالکوپیریت
کانی‌های باطله	کلسیت، باریت، کوارتز، سریسیت، کلریت	کربنات، کوارتز، سریسیت، باریت	باریت فراوان، کوارتز	کلریت، کوارتز، کربنات،	کلریت، کوارتز، سریسیت، اپیدوت	کوارتز، کلریت
عناصر فلزی	Cu-(Zn)	Zn-Pb-Cu	Pb- Zn	Cu-(Zn)	Cu- Zn	Cu
دگرسانی	کلریتی و کربناته- سریسیتی- سیلیسی	سریسیتی،سیلیسی، کلریتی، کلسیتی	سریسیتی، سیلیسی، کلریتی	کلریتی و سریسیتی	کلریتی،سیلیسی، سریسیتی، اپیدوتی	کلریتی، سیلیسی، سریسیتی،
مثال از تیپ‌های مشابه در ایران	تحقیق حاضر	کانسار چاه‌گز (Mousivand et al. (2011)، موسیوند و همکاران (۱۳۹۰)	کانسار باریکا (تاج الدین و همکاران.، ۱۳۸۹)، کانسارورندان(هاشمی و همکاران.، ۱۳۹۶)	کانسار سرگز (Badrzadeh et al., 2011)	کانسار بوانات (موسیوند و همکاران (۱۳۹۵) و کانسار نوده مغفوری وهمکاران.، ۱۳۹۳)	کانسارهای شیخ‌عالی (Rastad et al., 2002) قزل‌داش (امامعلیپور و مسعودی، ۱۳۷۶)

۱۳- نتیجه‌گیری

کانه‌زایی مس در کانسار نه‌کوهی، به شکل چینه‌کران و چینه‌سان در توالی آتشفشانی- رسوبی بایمدال فلسیک پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین رخ داده است. ماده معدنی به دو صورت چینه‌سان و همخوان با لایه‌بندی و رگه- رگچه‌ای ناهمساز با لایه‌بندی سنگ میزبان دیده می‌شود. چهار رخساره کانه‌دار در کانسار مس نه‌کوهی قابل تشخیص است که عبارتند از: ۱) رخساره رگه- رگچه‌ای یا استرینگر ۲) رخساره مجموعه دهانه‌ای، ۳) رخساره لایه‌ای و ۴) رخساره رسوبی-بروندمی نواری غنی از آهن و منگنز. بافت ماده معدنی عمدتاً به صورت رگه- رگچه‌ای، نواری، لامینه، توده‌ای- نیمه توده‌ای، برشی و دانه‌پراکنده دیده می‌شود. این کانه‌زایی حاوی کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، هماتیت و پیرولوزیت وکانی‌های ثانویه مالاکیت،کوولیت، دیژنیت، ژیپس و اکسید و هیدروکسیدهای آهن و منگنز بوده و کانی‌های باطله به‌طور عمده شامل کلسیت، باریت، کوارتز و کلریت می‌باشد. دگرسانی سنگ دیواره به طور عمده شامل دگرسانی کلریتی و کربناته- سریسیتی- سیلیسی هستند. کانه‌زایی مس در این کانسار از جهات مختلفی از جمله محیط زمین‌ساختی، توالی میزبان کانه‌زایی، کانی‌شناسی، پهنه‌بندی فلزی و دگرسانی آن و مقایسه آنها با ویژگی‌های اساسی ذخایر مس سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (تیپ VMS)، کانسار مس نه‌کوهی بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع سیلیسی کلاستیک فلسیک یا بتورست (Bathurst) نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود به‌خاطر حمایت مالی و لجستیکی از پایان نامه و حاج آقا خواجویی (صاحب معدن مس نه‌کوهی) و آقایان دکتر سید احمد مشکانی و مهندس سعید حاج صادقی به‌خاطر همکاری‌های لازم تشکر و قدردانی می‌نمایند.

کتابنگاری

امامعلی‌پور، ع.، مسعودی، ج.، ۱۳۷۶- اولین مورد از کانه‌زائی سولفید توده‌ای تیپ قبرس در منطقه قزل‌داش خوی، اولین همایش زمین‌شناسی ایران، تهران، ایران.

آقانباتی، س. ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۸۰۵ص.

آل طه کوهبنانی، ب.،۱۳۷۲- پترولوژی و ژئوشیمی سنگهای آذرین در شرق زرند کرمان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران، ۲۳۰ صفحه.

تاج‌الدین، ح.، راستاد، ا.، یعقوب‌پور، ع.،محجل، م.، ۱۳۸۹- سنگ‌زایی،ژئوشیمی و نقش دگرشکلی در کنترل الگوی پراکندگی عناصر کانه‌ساز در کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلای باریکا، خاور سردشت، سنندج- سیرجان شمالی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۳، صفحات ۱۴۱-۱۵۶.

جمالی، ح.، ۱۳۹۳- گزارش اکتشاف کانسار مس نه کوهی. گروه معدنی و بازرگانی زرمش.

حاج صادقی ، س.، ۱۳۹۴- مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی و تعیین فاکتورهای کنترل کننده کانی‌سازی در کانسار مس نه کوهی در مرکز استان کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، دانشکده معدن،۱۱۳صفحه. https://doi.org/10.2458/azu_acku_ds371_4_noon75_2005.

دوست محمدی، ا.، آل طه، ب.، نجف‌زاده، ع .ر.، ناظم‌زاده، م.، ۱۳۹۱- ژئوشیمی و ماگماتیسم سنگ‌های آذرین کوه آبنیل چشمه‌گز(شمال غرب کرمان). ژئوشیمی، جلد ۱، صفحات ۲۶-۳۸.

صدرزاده، س.، ۱۳۹۰- بررسی پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین در محدوده کانسار سنگ آهن جلال آباد زرند، پایان کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی زرند، ۱۲۰ صفحه.

طاشی، م.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، ۱۳۹۶- کانه‌زایی مس- نقره سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد نوع بشی در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین: مثال موردی کانسار گرماب پایین، جنوب شرق شاهرود. مجله زمین شناسی اقتصادی، ج.۹، ص. ۲۱۳-۲۳۳.

طهمورثی، ب.، ۱۳۷۵- پترولوژی مجموعه‌های آذرین آلکالن سری دزو در منطقه حرجند(شمال- شمال شرق کرمان) رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ۲۵۰ صفحه.

مشکانی، س. ا.، ۱۳۹۳الف- گزارش عملیات اکتشاف مقدماتی در محدوده‌ی نه‌کوهی، ۷۴ صفحه.

مشکانی، س. ا.، ۱۳۹۳ب- گزارش عملیات اکتشاف نیمه تفصیلی در محدوده‌ی نه‌کوهی، ۱۰۳ صفحه.

مغفوری، س.، راستاد، ا.، موسیوند، ف.، لین، ی.، ۱۳۹۳- کانسار سولفید توده ای آتشفشانزاد نوده، نمونه‌ای از کانسارهای نوع بشی، جنوب باخترسبزوار. فصلنامه علوم زمین، تهران. شماره ۹۴، ص ۷۳-۸۴.

موسیوند، ف.، راستاد، ا.، امامی، م.، پیتر، ج. و سولومون، م.، ۱۳۹۰- کانه‌زایی سولفید توده‌ای آتشفشانزاد روی- سرب- مس نوع Bathurst در منطقه چاه‌گز، جنوب شهربابک، پهنه سنندج- سیرجان جنوبی، فصلنامه علوم زمین، تهران، شماره۸۲، صفحه ۱۵۱-۱۶۴.

موسیوند، ف.، راستاد، ا.، امامی، م.، پیتر، ج. و سولومون، م.، ۱۳۹۵- رخساره‌های کانسنگ، پهنه‌بندی دگرسانی و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای مس- روی- نقره نوع بشیبوانات(جیان)، استان فارس، فصلنامه علوم زمین، تهران، شماره۹۹، صفحه ۶۱-۷۴.

نقشه راه‌های کشور، ۱۳۸۱- سازمان نقشه برداری کشور.

هاشمی، ف.، موسیوند، ف.، رضایی‌کهخائی، م.، ۱۳۹۶- افق‌های کانه‌دار، رخساره‌های کانسنگ، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) باریت- سرب- مس ورندان، جنوب‌غرب قمصر. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جلد ۹، ص. ۵۸۷-۶۱۶.

References

Badrzadeh, Z., Barrett, T.J., Peter, J.M., Gimeno, D., Sabzehei, M. and Aghazadeh, M., 2011- Geology, mineralogy and sulfur isotope geochemistry of the Sargaz Cu-Zn volcanogenic massive sulfide deposit, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. Journal of Mineralium Deposita,46: 905-923. https://doi.org/10.1007/s00126-011-0357-4.

Barrie, C.T. , Hannington, M.D., 1999- Introduction: classification ofVMS deposits based on host rock composition. Rev Econ. Geol. 8:2–10.

Darvishzadeh, A., Al-E Taha Kohbanani, B., 1996- Late Precambrian magmatismand tectono magmatism in Central Iran. Journal of science of Tehran University 22: 57–78.

Djocovic, I. and Dimitrigevic, M. , 1979- Baghin Geological map, scale 1:100000, Geological survey of Iran, map no. 7350.

Franklin, J.M., Gibson, H.L., Galley, A.G. and Jonasson, I.R., 2005- Volcanogenic massive sulfide deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb and J.P. Richads (Editors), Economic Geology 100th Anniversary Volume. Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado, p.523-560. https://doi.org/10.5382/av100.17.

Galley, A.G., Hannington, M.D. and Jonasson, I.R., 2007- Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.7.1355.

Goodfellow, W. D., McCutcheon, S. R., 2003- Geologic and genetic attributes of volcanic sediment-hosted massive sulfide deposits of the Bathurst Mining Camp, northern New Brunswick-a synthesis, Economic Geology Vol:11, No:Monograph, p: 245-301.

Goodfellow,W. D., 2007- Metallogeny of the Bathurst mining camp, northern New Brunswick. Mineral deposits of Canada.A synthesis of major deposit-type, district metallogeny, the evolution of geological provinces and exploration methods.Edited by WD Goodfellow. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, p.450-470. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.7.1355.

Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J. M., Solomon, .M., Khin Zaw, 2011- U-Pb geochronology and Pb isotope characteristics of theChahgaz volcanogenic massive sulfide deposit, South of Iran. International Geology Review,53: 1239-1262. https://doi.org/10.1080/00206811003783364

Nadimi, A., 2006- Evolution of the Central Iranian basement, Gondwana Research12: 324-333. https://doi.org/10.1016/j.gr.2006.10.012.

Rajabi, A., Rastad, E., Alfonso, P., Canet, C., 2012- Geology, ore facies, and sulphur isotopes of the Koushk vent-proximal sedimentary-exhalative deposit, Posht-e-Badam Block, Central Iran. International Geology Review 54:1635–1648.

Rajabi, A., Rastad, E., Canet, C. and Alfonso, P., 2015- The early Cambrian Chahmir shale-hosted Zn–Pb deposit, Central Iran: an example of vent-proximal SEDEX mineralization. Mineralium Deposita, 50(5):571-590. https://doi.org/10.1080/00206814.2012.659106.

Ramezani, J., Tucker, R., 2003-The Saghand region, Central Iran: U–Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. American J. of Science, 303: 622–665. https://doi.org/10.2475/ajs.303.7.622.

Rastad, E., Monazami Miralipour, A., Momenzadeh, M., 2002- Sheikh-Ali copper deposit, A Cyprus-type VMS deposit in southeast Iran, Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran,13: 51-63.

Shanks III, W. C. P., Koski, R. A., 2012- Introduction. In: Volcanogenic Massive 100 Sulfide Occurrence Model, (eds.) Shanks III, W. C. P. and Thurston, R, pp. 4-8, USGS Scientific Investigations Report 2010-5070-C. https://doi.org/10.3133/sir20105070c.

Talbot, C. J. and Alavi, M., 1996- The past of a future syntaxes across the Zagros, in Alsop, G. I., Blundell, D. J., and Davison, I., editors, Salt Tectonics: Geological Society Special Publications, 100: 89–109. https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1996.100.01.08.

Yaghubpur, A. and Mehrabi, B., 1997- Kushk zinc-lead deposit:a typical black-shale-hosted deposit in Yazd State, Iran:Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, v. 8, no. 2,p. 117–125.

Nohkuhi volcanogenic massive sulfide deposit: a sample of Bathurst- type mineralization in northwest of Kerman

A. Pakizeh Sanajerdi[1], F. Mousivand[*2], A. Rajabi[3], S. Maghfouri[4]

[1]M.Sc. Student in Economic Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood

[2]Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

[3]Assistant Professor, Department of Geology,College of Sciences, Tehran University, Tehran

[4]Assistant Professor, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran

Received: 2018 January 28 Accepted: 2019 January 19

Abstract

The Nohkuhi copper deposit located at 40 Km Northwest of Kerman, occurred in the Central Iran structural zone (Bafq- Posht-e- Badam block), within Late Precambrian-Early Cambrian volcano-sedimentary sequences. Host sequence of mineralization consists of dominantly black shale, sandstone and dacitic lava of Rizu Series. Mineralization occurred as stratabound (vein-veinlets) and stratiform (bedded) in the three copper- and two iron-manganese horizons. The mineralization in the Nohkuhi area involves four ore facieses including stringer, vent complex, bedded, and hydrothermal-exhalative banded iron and manganese-rich sediments. Ore textures are dominantly vein-veinlets, laminated, banded, massive, semi-massive, brecciated, and disseminated. This mineralization contains primary pyrite, chalcopyrite, sphalerite, hematite and pyrolusite, and secondary malachite, covelline, digenite, gypsum and Fe-Mn oxide and hydroxides. Gangue minerals are dominated by calcite, barite, quartz and chlorite. Wallrock alterations are dominated by chloritic and carbonatic-sericitic- silicic.Based on geochemistry of ore, metal zonation was observed in the deposit as enrichment of Cu in the stringer zone, and enrichment of Pb, Zn and Ag in the bedded facies. Considering the most important characteristics of mineralization at the Nohkuhi area, such as tectonic setting, host rocks, ore textures and structures, mineralogy, metal and alteration zonation, and comparison of the mineralization with main characters of the volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits, the mineralization shows most similarities with the siliciclastic felsic or Bathurst- type deposits.

Keywords: Nohkuhi copper deposit, VMS، Bathurst type, Posht-e- Badam block, Central Iran

For Persian Version see pages 111 to 122

*Corresponding author: F. Mousivand; E-mail: mousivand@shahroodut.ac.ir